

Wybrane sposoby wzmacniania skorodowanej stalowej obudowy odrzwiowej

Selected ways of reinforcing the corroded steel arch support



Dr hab. inż. Stanisław Prusek^{*)}



Dr inż. Marek Rotkegel^{*)}



Mgr inż. Łukasz Małecki^{*)}

Treść: W artykule porównano wybrane, najczęściej stosowane metody wzmacniania skorodowanej stalowej obudowy wyrobisk korytarzowych. Zestawiono cechy charakterystyczne poszczególnych metod oraz koszty stosowania niektórych z nich. Spośród analizowanych sposobów najbardziej efektywnym wydaje się być torkretowanie. Przemawia za tym rachunek ekonomiczny oraz poziom bezpieczeństwa prowadzonych prac. Jednak skuteczność obudowy powłokowej z betonu natryskowego wymaga zapewnienia odpowiednich parametrów zgodnych z przyjętymi na etapie projektowania.

Abstract: This paper compares the most commonly used methods of reinforcing corroded steel arch roadway supports. The characteristics the costs of use of the presented methods are summarized. Among the analyzed, the most effective way of reinforcing appears to be shotcreting. This is influenced by the economic balance and the level of work safety. However, to ensure the effectiveness of the shotcrete lining it is necessary to obtain shotcrete parameters corresponding to those used at the design stage.

Słowa kluczowe:

obudowa wyrobisk korytarzowych, górnictwo, korozja, wzmacnianie obudowy wyrobisk korytarzowych, rachunek ekonomiczny

Key words:

roadway supports, mining, corrosion, reinforcing roadway supports, economic balance

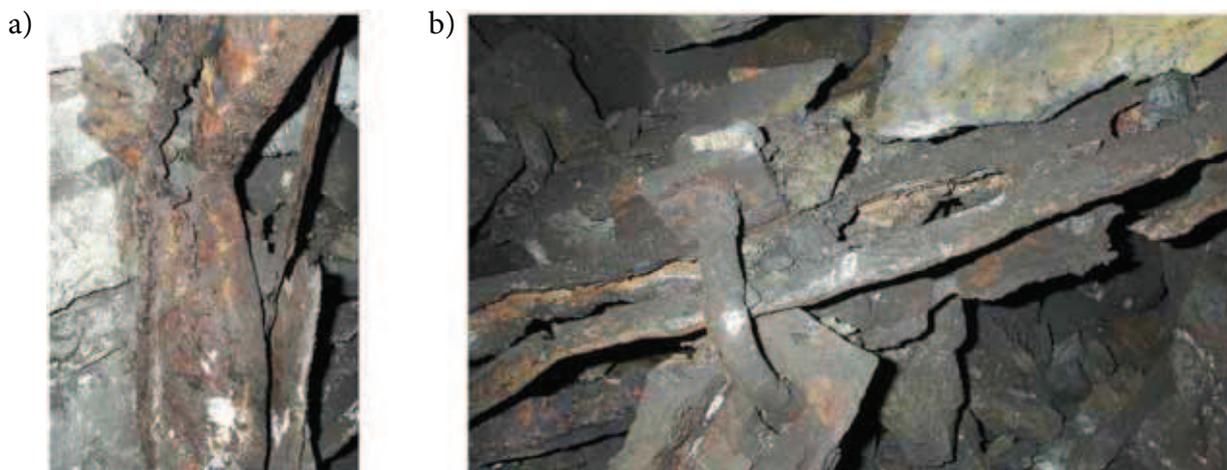
1. Wprowadzenie

Zapewnienie stateczności wyrobiska, zachowanie parametrów jego przekroju poprzecznego, a przede wszystkim zabezpieczenie załóg górniczych, maszyn i urządzeń przed zawałami i obrywającymi się odłamkami skalnymi to główny cel, stawiany obudowie. Dla spełnienia zadań obudowy kluczowe są parametry geometryczne odrzwi oraz wytrzymałościowe poszczególnych elementów obudowy. Z tymi parametrami bezpośrednio związana jest nośność obudowy. Stateczność wyrobiska jest zachowana, dopóki nośność obudowy jest większa niż obciążenia na nią działające. Należy jednak pamiętać, że zarówno działające obciążenia, jak i nośność obudowy często są wielkościami zmiennymi w czasie. Szczególnie ma to miejsce w przypadku obudowy stalowej, gdzie na jej podporność wpływa cały szereg czynników, takich

jak kształt obudowy (także stan jej deformacji), własności wytrzymałościowe zastosowanych materiałów, poprawność zabudowy w wyrobisku oraz wielkość zastosowanego profilu. Nie bez znaczenia pozostaje zjawisko korozji, które poprzez zmianę parametrów przekrojowych kształtowników istotnie wpływa na spadek nośności całych odrzwi. Na rysunku 1 przedstawiono przykłady znacznego skorodowania elementów obudowy.

Istotny jest także fakt, że obciążenia działające na obudowę również mogą ulegać znacznym zmianom, wynikającym z prowadzonej w pobliżu eksploatacji, wstrząsów górotworu czy cech reologicznych skał otaczających wyrobisko. Nie bez znaczenia pozostają także dodatkowe obciążenia generowane w procesach transportu kolejkami podwieszanymi, zawieszaniem lub podnoszeniem na odrzwiach maszyn i urządzeń. Z uwagi na bezpieczeństwo użytkowania obudowy w całym założonym okresie, powinna się ona charakteryzować większą nośnością, niż obciążenia na nią działające. Jak wynika z praktyki górniczej, nie zawsze warunek ten jest spełniony.

^{*)} Główny Instytut Górnictwa w Katowicach



Rys. 1. Skrajne przypadki skorodowania obudowy a) korozyjne złamanie łuku ociosowego b) skorodowany element odrzwi po wystąpieniu obwalu skal

Fig. 1. Extreme cases of support corrosion: a) fracture of wall arc caused by corrosion b) corroded element of arch frame after rock fall

Dowodem mogą być tu zaistniałe w ostatnich latach zawały, spowodowane znacznym spadkiem nośności, wywołanym właśnie korozją. W każdym przypadku powodują one znaczne straty materialne związane z wyłączeniem wyrobisk z ruchu [26, 27, 28]. Niestety, czasami powodują także ofiary w ludziach, jak to na przykład miało miejsce w KWK „Polska-Wirek” w 2005 r., gdzie pod opadającymi bryłami skał i elementami obudowy zginął górnik [26]. Zapobieganie takim wypadkom i zdarzeniom skłania do prowadzenia okresowych kontroli stanu technicznego wyrobisk i ich obudowy oraz odpowiednie reagowanie w sytuacjach zagrożenia utraty stateczności wyrobiska.

W polskich kopalniach stosuje się wiele sposobów wzmocnienia skorodowanej obudowy. Różnią się one między sobą skutecznością, pracochłonnością i związanym z tym kosztem wykonania, a także bezpieczeństwem prowadzonych robót. Jednym z najczęściej stosowanych sposobów jest torkretowanie, które pozwala na wykonanie skutecznego wzmocnienia w sposób bezpieczny przy zadowalających kosztach realizacji.

W ostatnich latach w Głównym Instytucie Górnictwa prowadzono wiele prac w zakresie monitorowania pracy obudowy [8,9,10,17], oceny jej stanu technicznego ze szczególnym uwzględnieniem zjawiska korozji [12] oraz prognozowania przebiegu tego zjawiska [16]. W efekcie tych działań opracowano metodykę oceny stopnia skorodowania obudowy [11] oraz program wspomagający proces kontroli [20].

2. Przegląd wybranych sposobów wzmocnienia skorodowanej obudowy odrzwiowej

Stalowa obudowa chodnikowa w trakcie jej użytkowania bardzo często poddawana jest działaniu agresywnego środowiska. W wyniku tego, podobnie jak inne obiekty techniczne wykonane ze stali, ulega zjawisku korozji.

Dla zachowania odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa, stalowa obudowa odrzwiowa w przypadku wystąpienia znacznej korozji powinna zostać poddana ocenie pod kątem spełniania założonych parametrów podpornościowych. W przypadku stwierdzenia możliwości wystąpienia stanu niebezpiecznego, w którym obciążenie zewnętrzne jest bliskie nośności obudowy, podejmowane są decyzje dotyczące wykonania wzmocnień jej elementów lub wymiany całych odrzwi. Najczęściej w tym zakresie stosuje się:

- wzmocnienie obudowy za pomocą podciągu drewnianego lub stalowego, podbudowanego ciernymi stojakami stalowymi lub drewnianymi,
- wzmocnienie obudowy za pomocą wieloboku z elementów drewnianych (obudową poligonową),
- wzmocnienie obudowy za pomocą indywidualnych stropnic kotwionych,
- zmniejszenie obciążeń obudowy przez zastosowanie kotwienia górotworu,
- wzmocnianie uszkodzonych odcinków łuków ociosowych odcinkami nowych kształtowników („proteżowanie”),
- wzmocnianie obudowy poprzez wstawianie pełnych odrzwi w istniejący przekrój wyrobiska,
- betonowanie skorodowanych odcinków łuków ociosowych,
- torkretowanie.

Osobną grupę stanowią działania i zabiegi stosowane jako profilaktyka korozji, wśród których należy wymienić:

- cynkowanie,
- nakładanie powłok ochronnych (np. TEKFLEX [18,19,21,22], AGESO [24]),
- stosowanie stali o zwiększonej odporności na korozję.

Metody, często zakładają stosowanie stojaków, z uwagi na ich prostotę oraz szybkość wykonania, zwłaszcza w przypadkach konieczności doraźnego wzmocnienia obudowy. Jednak znacznie ogranicza to funkcjonalność wyrobiska. Często zdarzają się sytuacje, szczególnie w przypadku wyrobisk pełniących funkcje transportowe, że nie jest możliwe stosowanie stojaków pośrednich. Alternatywnymi rozwiązaniami może być kotwienie górotworu lub przykotwienie odrzwi. Jednak wymaga to określenia zasięgu strefy spękań. W wielu przypadkach rozwiązanie to nie jest uzasadnione technicznie lub ekonomicznie z uwagi na konieczność stosowania długich kotwi lub wcześniejszego skonsolidowania spękań strefy górotworu wokół wyrobiska. Jedną z często stosowanych metod wzmocnienia obudowy jest proteżowanie. Ten sposób przywrócenia nośności może być stosowany jednak tylko w pewnych przypadkach zaistniałej korozji – obejmującej jedynie przyspagowe odcinki łuków ociosowych. Proteżowanie polega na połączeniu odpowiednio skróconych łuków tej samej wielkości kształtownika i odrzwi z łukami wzmocnianymi. Łuki wzmocniające są skrócone od strony części łukowej o odcinek nieco większy od zakładki w istniejącej obudowie. Przy stosowaniu proteżowania obszar złączy nie

jest wzmocniany. Wystąpienie korozji w tym obszarze może wykluczyć możliwość zastosowania tego typu wzmocnienia. Metoda ta nie jest stosowana dla odrzwi z kształtowników KS/KO z uwagi na jednostronne kojarzenie kształtowników na łuki ociosowe (KO) i stropnicowe (KS).

Kolejną metodą wzmocnienia obudowy jest zabudowa pełnych odrzwi w istniejący przekrój wyrobiska. Wzmocnienie tą metodą może być realizowane na dwa sposoby. Gdy zmniejszenie przekroju wyrobiska jest możliwe, buduje się odrzwia o nieco mniejszych gabarytach. Geometrię nowej obudowy dobiera się indywidualnie dla wyrobiska, na podstawie pomiarów istniejącej obudowy, uwzględniając możliwość zabudowania okładzin pomiędzy istniejącą a nową obudową. Powstałe puste przestrzenie pomiędzy nową obudową a wyłomem wypełnia się w celu zapewnienia równomiernego rozkładu obciążeń. Odrzwia nowej obudowy najczęściej są stabilizowane za pomocą rozpór i nie są połączone z odrzwiami starej obudowy. Drugi sposób wzmocnienia jest stosowany, gdy warunki nie pozwalają na zmniejszenie przekroju wyrobiska. Stosuje się wtedy wstawianie odrzwi o takim samym zarysie pomiędzy odrzwia istniejącej obudowy. Odrzwia nowej obudowy stabilizowane są najczęściej za pomocą podciągów lub rozpór o regulowanej długości. Pewną modyfikacją tych metod jest zabudowa poligonu (drewnianej obudowy wielobokowej).

Kolejną metodą jest wzmocnianie obudowy poprzez wylewanie betonowej ławy do wysokości skorodowanych odcinków łuków ociosowych. Metoda ta jest jednak stosowana jedynie w przypadkach, gdy korozja ma charakter miejscowy i obejmuje jedynie dolne końce łuków ociosowych. Sytuacja taka ma miejsce tam, gdzie na spagu wyrobiska gromadzi się woda (wyrobiska bez ścieków wodnych), która następnie kapilarnie do pewnej wysokości zwilża łuki ociosowe. Betonowanie powinno objąć swym zasięgiem także ewentualne pustki w ociosach oraz wnętrza kształtowników V lub KO.

Jedną z najczęściej stosowanych metod wzmocnienia obudowy jest torkretowanie. Wykonywane jest poprzez natrysk na uprzednio oczyszczoną i przygotowaną powierzchnię skorodowanych odrzwi, wykładki oraz akcesoriów obudowy [5, 6, 10]. Nakładany torkret ma także właściwości penetracyjne, dzięki czemu wypełnia do pewnego stopnia pustki znajdujące się za obudową oraz scala wykładkę kamienną. Wśród wad tej metody należy wymienić między innymi: usztywnienie obudowy, konieczność przygotowania powierzchni odrzwi poprzez oczyszczenie z korozji oraz brak możliwości późniejszej kontroli stanu skorodowanej obudowy stalowej.

Pośród przedstawionych metod torkretowanie, pomimo pewnych ograniczeń, jest stosowane na coraz szerszą skalę. Wynika to między innymi z tego, że jest to sposób stosunkowo niedrogi, a przede wszystkim bezpieczny na etapie wykonywania wzmocnienia [3,4]. W porównaniu z metodami opartymi na wymianie skorodowanych elementów wiąże się ze znacznie mniejszym ryzykiem wystąpienia wypadku w trakcie prowadzenia robót. Nie bez znaczenia jest także stosunkowo prosty sposób wykonywania i duży postęp prac, co wpływa korzystnie na koszt realizacji przedsięwzięcia.

Aby uchronić stalową obudowę wyrobisk korytarzowych, zabudowaną lub przeznaczoną do zabudowy w miejscach, w których jest ona narażona na działania agresywnego środowiska (miejsca wycieków wód, okolice tam wentylacyjnych, wodnych), stosuje się różnego rodzaju zabezpieczenia antykorozyjne, które ochronią obudowę lub przedłużają jej trwałość. Zabezpieczenia antykorozyjne mogą być stosowane w przypadku obudowy już zabudowanej w wyrobisku, jednak zdecydowanie najlepszy skutek przynoszą w przypadku obudowy nowej, dopiero przeznaczonej do zabudowy. Powszechnym, najbardziej popularnym sposobem ochrony

metali przed korozją jest nakładanie powłok lakierniczych. Podstawowymi cechami tych powłok są: szczelność i dobre przyleganie do podłoża. Nakładane są one najczęściej za pomocą pędzla, wałka lub natryskowo [1, 25]. Najczęściej jednak zaburzają one podatność odrzwi. Innym przykładem skutecznego zabezpieczenia mogą być powłoki metaliczne nakładane metodami malarskimi. Powłoki te zawierają cynk, który powoduje powstanie aktywnego katodowego zabezpieczenia antykorozyjnego, porównywalnego z cynkowaniem ogniowym. Dodatkowo powłoka oprócz zabezpieczenia antykorozyjnego powoduje zwiększenie nośności roboczej (zsuwnej) odrzwi [24]. Innymi sposobami zwiększenia trwałości obudowy w warunkach agresywnego środowiska jest zastosowanie materiałów o zwiększonej odporności na korozję (np. stale mikrostopowe w gatunkach S480W, S550W i G480V [2, 7]), lub stosowanie przewymiarowania obudowy, uwzględniając nadatki na korozję. Doskonale nadają się do tego celu odrzwia ŁPw [23] charakteryzujące się zwiększoną nośnością, co pozwala na uzyskanie obudowy o wyższej podporności bez zwiększenia jej ciężaru.

Zalety i wady poszczególnych metod wzmocnienia obudowy przedstawiono w tabelicy 1, a przykłady zastosowania wybranych wzmocnień i zabezpieczeń – na rysunku 2.

3. Koszty wykonywania wzmocnienia skorodowanej obudowy odrzwiowej

W trakcie realizacji prac statutowych GIG [13, 14, 15] pozyskano informacje z kopalni na temat kosztów wykonania wzmocnień obudowy. Informacje te dotyczyły wariantów:

- wymiany odrzwi wraz z akcesoriami - rozporami i siatkami,
- wykonanie torkretowania wyrobiska.

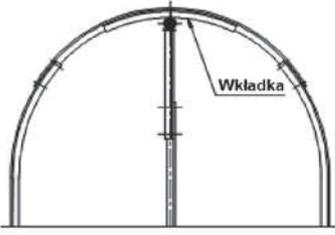
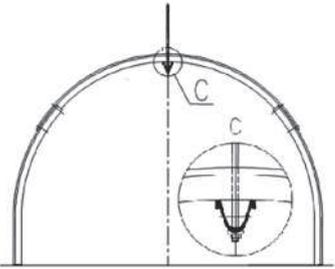
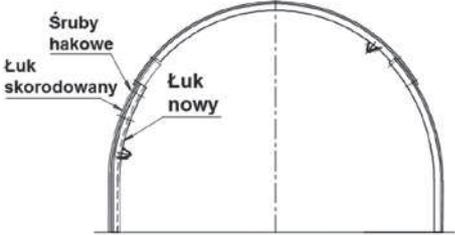
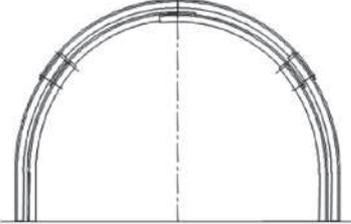
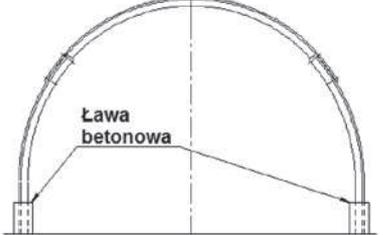
Dodatkowo dla porównania pozyskano informację na temat kosztów drażenia wyrobiska wraz z wykonaniem nowej obudowy. Uzyskane dane i przeprowadzone analizy dotyczyły odrzwi ŁP wykonanych z kształtownika V29, zabudowanych w rozstawie 0,8 m oraz wyrobisk w formacie 8, 9 i 10, a w przypadku torkretu – warstwy o grubości 15 cm. W tabelicy 2 zestawiono koszty przebudowy, wzmocnienia i wykonywania obudowy, natomiast na rysunku 3 przedstawiono koszty wykonania wyrobiska o długości 100 m.

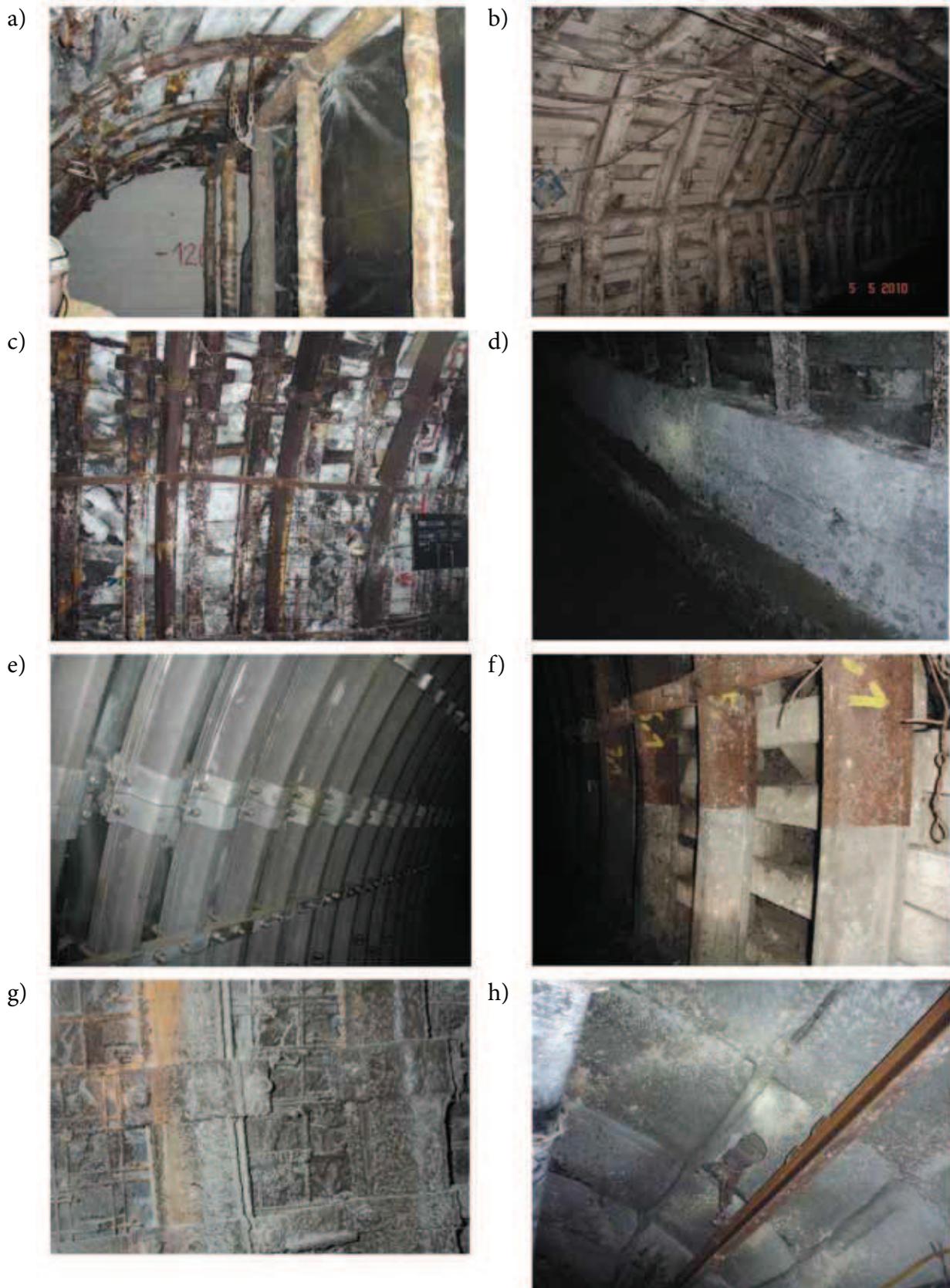
Jak wynika z przedstawionych zestawień największy koszt związany jest z wykonaniem nowego wyrobiska w kamieniu. Koszt przebudowy wyrobiska (poprzez wymianę całych odrzwi) kształtuje się pomiędzy kosztami drażenia w węglu i w kamieniu. Przebudowa wiąże się także z największym zagrożeniem w trakcie prowadzenia prac, gdyż roboty naruszają wytworzony stan równowagi w układzie obudowa - górotwór. Nieco mniejsze koszty pochłania dobudowanie odrzwi, lecz może być ono zastosowane jedynie w miejscach, gdzie możliwe jest zmniejszenie gabarytów wyrobiska. Natomiast torkretowanie stanowi zaledwie 20÷25 % takich kosztów.

Wykonanie obudowy powłokowej z betonu natryskowego może znacząco obniżyć koszty związane ze wzmocnianiem skorodowanych odrzwi w przypadkach, gdy dotychczasowa obudowa wyrobisk kwalifikuje się do tego sposobu wzmocnienia. Przez torkretowanie zazwyczaj zabezpiecza się wyrobiska kluczowe oraz długotrwałe dla kopalni. W przypadkach tych zasadne jest wykonanie torkretowania krótko po zabudowie (lub wymianie) odrzwi, zwłaszcza w miejscach, gdzie występują wykroplenia wody. Wykonana obudowa powłokowa z torkretu stanowi także pewną formę zabezpieczenia antykorozyjnego.

Wychodząc na przeciw potrzebom kopalni, na podstawie doświadczeń uzyskanych w trakcie realizacji prac statutowych

Tablica 1. Zalety i wady metod wzmocnienia skorodowanej obudowy
Table 1. Advantages and disadvantages of methods of corroded support reinforcements

Metoda	Szkic metody	Zalety i wady
Przebudowa wyrobiska – wymiana odrzwi	---	Metoda przynosząca najlepsze efekty, duża trwałość nowej obudowy, możliwość zmiany przekroju wyrobiska. Prace niezwykle niebezpieczne, czasochłonne i kosztowne.
Wzmocnienie obudowy za pomocą podciągu drewnianego lub stalowego, podbudowanego ciernymi stojakami stalowymi lub drewnianymi		Relatywnie łatwe wykonanie wzmocnienia, możliwość doraźnego zastosowania. Zmniejszenie funkcjonalności wyrobiska.
Wzmocnienie obudowy za pomocą indywidualnych stropnic kotwionych		Relatywnie łatwe wykonanie wzmocnienia. Ograniczona możliwość stosowania kotwienia.
Wzmocnianie uszkodzonych odcinków łuków ociosowych odcinkami nowych kształtowników („protezowanie”)		Bezpieczeństwo podczas wykonywania wzmocnienia. Wzmocnienie nie obejmuje obszaru złączy, nie można stosować dla obudowy z kształtowników KS/KO
Wzmocnianie obudowy poprzez wstawianie pełnych odrzwi w istniejący przekrój wyrobiska		Wysoka trwałość obudowy, metoda stosunkowo bezpieczna Metoda czasochłonna i uciążliwa, wysokie koszty robocizny i materiału, najczęściej zmniejszenie przekroju poprzecznego wyrobiska.
Betonowanie skorodowanych odcinków łuków ociosowych		Łatwość wykonania wzmocnienia, niski koszt wykonania, bezpieczeństwo podczas wykonywania robót. Możliwość stosowania tylko w przypadku korozji przyspągowych części łuków ociosowych.
Torkretowanie		Relatywnie łatwe wykonanie wzmocnienia, niski koszt wykonania, bezpieczeństwo podczas prowadzenia robót. Wzmocniona obudowa pracuje jako sztywna, brak możliwości kontroli stanu obudowy stalowej, czasochłonne oczyszczanie powierzchni z produktów korozji.



Rys. 2. Przykłady wzmocniania obudowy oraz zabezpieczenia antykorozyjnego a) podparcie obudowy za pomocą stojaków drewnianych, b) podbudowa poligonem (obudową drewnianą wielobokową), c) dobudowanie odrzwi, d) ława betonowa, e) ocynkowanie, f) powłoka AGESO, g) powłoka TEKFLIX, h) obudowa torkretowa.

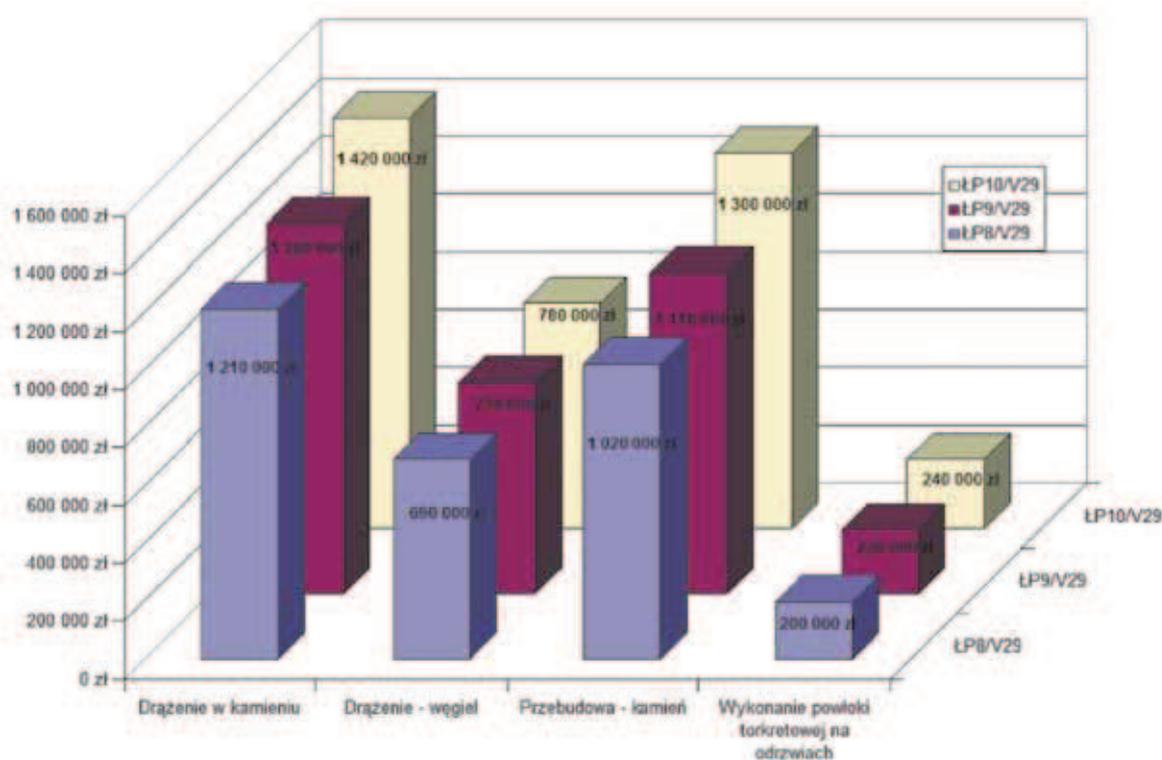
Fig. 2. Examples of support reinforcing and corrosion protection: a) reinforcement by means of wooden rack supports, b) enclosure of polygon wooden support, c) addition of arch frame, d) concrete bench, e) galvanization, f) coating by AGESO, g) coating by TEKFLIX, h) shotcrete lining.

Tablica 2. Zestawienie kosztów wzmocnienia obudowy dla odrzwi ŁP/V29/A budowanych z rozstawem 0,8 m
Table 2. Cost schedule of support reinforcement for the double timber ŁP/V29/A built with spacing of 0,8 m

Obudowa	Operacja	Robocizna	Materiał**	Razem koszt 1 metra obudowy	Razem koszt wykonania 100 m wyrobiska
ŁP8/V29	Drażenie - kamień	10 000,00 zł	2145,00 zł	12 145,00 zł	1 210 000,00 zł
	Drażenie - węgiel	4 700,00 zł	2 190,00 zł	6 890,00 zł	690 000,00 zł
	Przebudowa - kamień	7 650,00 zł	2 500,00 zł	10 150,00 zł	1 020 000,00 zł
	Wykonanie powłoki torkretowej na odrzwiach	220zł / 1 m ²		2 025,00 zł	200 000,00 zł
ŁP9/V29	Drażenie - kamień	10 600,00 zł	2230,00 zł	12 830,00 zł	1 280 000,00 zł
	Drażenie - węgiel	5 000,00 zł	2 250,00 zł	7 250,00 zł	730 000,00 zł
	Przebudowa - kamień	8 500,00 zł	2 625,00 zł	11 125,00 zł	1 110 000,00 zł
	Wykonanie powłoki torkretowej na odrzwiach	220zł / 1 m ²		2 180,00 zł	220 000,00 zł
ŁP10/V29	Drażenie - kamień	11 600,00 zł	2550,00 zł	14 150,00 zł	1 420 000,00 zł
	Drażenie - węgiel	5 300,00 zł	2 500,00 zł	7 800,00 zł	780 000,00 zł
	Przebudowa - kamień	10 050,00 zł	2 940,00 zł	12 990,00 zł	1 300 000,00 zł
	Wykonanie powłoki torkretowej na odrzwiach	220zł / 1 m ²		2 355,00 zł	240 000,00 zł

– przyjęto dane z maja 2013 r

– koszt materiału policzono dla rozstawu odrzwi 0,8 m.



Rys. 3. Porównanie kosztów wzmocnienia skorodowanej obudowy z kosztem wykonania nowej obudowy na odcinku 100 m wyrobiska

Fig. 3. Cost comparison of the corroded support reinforcement concerning 100m of excavation

GIG [13, 14], opracowana została metodyka projektowo - badawcza obudowy torkretowej. Obejmuje ona projektowanie z uwzględnieniem możliwych do osiągnięcia parametrów materiałowych, a także monitoring obudowy stalowej wzmocnionej torkretem. Nowo opracowana metodyka zakłada projektowanie obudowy lub wzmocnienia, oparte na wynikach badań laboratoryjnych próbek otrzymanych w warunkach dołowych z uwzględnieniem stosowanej technologii natrysku.

4. Podsumowanie

Korozja stalowej obudowy wyrobisk korytarzowych jest zjawiskiem występującym powszechnie w kopalniach węgla

kamiennego. Wynika to z warunków, jakie panują pod ziemią: agresywne środowisko, wysoka wilgotność powietrza, występowanie agresywnych związków chemicznych. Warunki te wpływają negatywnie na trwałość stalowej obudowy. Z tego powodu, dla zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa, konieczne jest okresowe wykonywanie oceny stanu technicznego obudowy i ewentualnie kwalifikowanie jej do konkretnego sposobu wzmocnienia.

Dla przedłużenia trwałości obudowy w środowiskach szczególnie agresywnych, warto rozważyć stosowanie środków ochrony przed korozją (stosowanie materiału odpornego na korozję, nakładanie powłok torkretowych, lakierniczych, czy metalicznych). Przy projektowaniu nowej obudowy wyrobisk, która już na etapie wykonywania będzie pokrywana

warstwą torkretu, można rozważyć stosowanie łuków odwrotnie giętych. Pozwala to na uniknięcie pustki, która pozostaje wewnątrz kształtownika.

Z przeprowadzonych porównań kosztów wybranych działań naprawczych skorodowanej obudowy, torkretowanie okazuje się być metodą najbardziej opłacalną. Jest to metoda znacznie tańsza od przebudowy, szybka w realizacji, a przy tym pozwala zapewnić odpowiednio wysoki poziom bezpieczeństwa w trakcie prowadzenia robót. Zaprezentowane zalety tej metody wpłynęły na powszechność jej stosowania.

Literatura

1. *Baszkiewicz J., Kamiński M.*: Podstawy korozji materiałów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997.
2. *Kuziak R., Molenda R., Mazur A., Lasicz R., Nawrot J.*: Kształtowniki funkcjonalne na obudowy chodnikowe w kopalniach węgla kamiennego. Prace Instytutu Metalurgii Żelaza, Nr 1/2004, Gliwice, 2004.
3. PN-EN 14487-1:2007, Beton natryskowy – Część 1: Definicje, wymagania i zgodność.
4. PN-EN 14487-2:2007, Beton natryskowy – Część 2: Wykonywanie.
5. PN-G-05600:1998, Podziemne wyrobiska korytarzowe i komorowe – Obudowa powłokowa – Zasady projektowania i obliczeń statycznych.
6. PN-G-14100:1997, Podziemne wyrobiska korytarzowe i komorowe - Beton natryskowy – Wymagania i badania.
7. PN-H-84042: 2009 – Stale mikrostopowe na kształtowniki i akcesoria górnicze.
8. *Prusek S., Lubosik Z.*: Monitoring of a longwall gate road maintained behind the caving extraction front. Freiburger Forschungshefte C 519, Geoingenieurwesen, str 84+95, 2007 r.
9. *Prusek S.*: System ciągłego monitoringu gabarytów wyrobisk korytarzowych. Przegląd Górniczy nr 7-8, 2006 r.
10. *Prusek S., Rajwa S., Rotkegel M.*: Obudowa torkretowa w polskich kopalniach węgla kamiennego. Konferencja Naukowo-Szkoleniowa "Wybrane zagadnienia wentylacyjne i pożarowe w kopalniach", Jaworze 1-3 October 2012. Praca zbiorowa pod red.: Prusek S., Cygankiewicz J., GIG, Katowice, pp. 131÷137, 2012.
11. *Prusek S., Rotkegel M., Stokłosa J., Malesza A.*: Ocena stopnia skorodowania odrzwi obudowy chodnikowej na przykładzie ZG „Bytom III”. Miesięcznik WUG nr 9/2004, Katowice, str.13÷20, 2004
12. *Rotkegel M. et al.*: Metody diagnozowania stanu technicznego skorodowanych odrzwi obudowy chodnikowej. Praca statutowa GIG nr 11040104-151. Katowice, 2005.
13. *Rotkegel M. et al.*: Próby dołowe torkretu oraz opracowanie metodologii kontroli obudowy torkretowej. Praca statutowa GIG nr 10160123-151. Katowice, 2014.
14. *Rotkegel M. et al.*: Technologie wykonywania obudowy torkretowej oraz sposoby jej badania w aspekcie uwzględnienia właściwości charakteryzujących nowo opracowaną recepturę torkretu. Praca statutowa GIG nr 10010212-151. Katowice, 2013.
15. *Rotkegel M. et al.*: Zebranie oraz analiza doświadczeń w zakresie stosowania obudowy torkretowej z uwzględnieniem doświadczeń górnictwa polskiego. Praca statutowa GIG nr 11600411-151. Katowice, 2012.
16. *Rotkegel M. et al.*: Zjawisko korozji elementów obudowy chodnikowej w aspekcie prognozowania jego przebiegu. Praca statutowa GIG nr 11040205-151. Katowice, 2006.
17. *Rotkegel M., Prusek S.*: Korozja obudowy wyrobisk korytarzowych. Wiadomości Górnicze nr 7-8, 2005 r.
18. *Rotkegel M.*: Modelowe badania opinki w postaci powłoki TEKFLIX. Przegląd Górniczy nr 5/2002. Katowice 2002.
19. *Rotkegel M.*: Określenie grubości powłoki TEKFLIX wymaganej do zastosowania jej jako opinka obudowy chodnikowej. Zeszyty Naukowe Katedry Mechaniki Stosowanej nr 18/2002. Gliwice, 2002. str. 373÷378. (XLI Sympozjon Modelowanie w Mechanice. Gliwice, Wisła 2002.)
20. *Rotkegel M.*: Pomiary ubytku korozyjnego obudowy wyrobisk korytarzowych. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa nr 4/2006. Katowice, 2006.
21. *Rotkegel M.*: Powłoki elastyczne jako opinka wyrobisk korytarzowych – możliwości zastosowania. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa Nr 853. Katowice, 2003.
22. *Rotkegel M.*: Symulacja powłoki TEKFLIX jako opinki obudowy chodnikowej. Systems. Journal of Transdisciplinary Systems Science. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław, 2002. str. 467÷476. (VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa Computer Aided Engineering. Wrocław – Polanica Zdrój 2002.
23. *Rotkegel, M.*: ŁPw steel arch support – designing and test results. Journal of Sustainable Mining, 12(1), Katowice 2013.
24. *Skrzyński K. + zespół*: Opinia dotycząca wpływu zastosowania systemu AGESO – film cynkowy jako powłoki antykorozyjnej na pracę złącz kształtowników V oraz kompletnych odrzwi obudowy. Dokumentacja pracy badawczo-usługowej GIG, Katowice, 2003.
25. *Wranglen G.*: Podstawy korozji i ochrony metali. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1985.
26. Wyższy Urząd Górniczy: STAN BEZPIECZEŃSTWA I HIGIENY PRACY W GÓRNICTWIE w 2005 roku, www.wug.gov.pl, Katowice, 2006.
27. Wyższy Urząd Górniczy: STAN BEZPIECZEŃSTWA I HIGIENY PRACY W GÓRNICTWIE w 2008 roku, www.wug.gov.pl, Katowice, 2009.
28. Wyższy Urząd Górniczy: STAN BEZPIECZEŃSTWA I HIGIENY PRACY W GÓRNICTWIE w 2011 roku, www.wug.gov.pl, Katowice, 2012.